

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«Київський політехнічний інститут»

ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ДЛЯ
ГАЗОТЕРМІЧНОГО НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТЯ – 1.
Обладнання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до розрахунково-графічної роботи для студентів напряму підготовки
6.050504 «Зварювання»

Затверджено Вченою радою ЗФ, НТУУ «КПІ»

Обладнання та технологія для газотермічного нанесення покриття : Метод. вказівки до виконання до розрахунково-графічної роботи для студентів напряму підготовки 6.050504 «Зварювання»/ Уклад.: Ю.С. Попіль, А.В.Чорний, Д.В.Степанов– К.: НТУУ «КПІ», 2013 р.– 32 с.

*Гриф надано методичною радою ЗФ, НТУУ «КПІ»
(Протокол № від 2013 р.)*

ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ДЛЯ ГАЗОТЕРМІЧНОГО НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТЯ – 1. Обладнання

Методичні вказівки

до виконання розрахунково-графічної роботи
для студентів напряму підготовки 6.050504 «Зварювання»

Укладачі: *Попіль Юрій Станіславович, к.т.н. , доц.*
Чорний Андрій Вячеславович, . , к.т.н., ст. викл.
Степанов Денис Володимирович, ас.

Відповідальний

Редактор *В. Д. Кузнецов, д. т. н. , проф.*

Рецензент *О.В. Прохоренко, к. т. н., доц.*

Зміст

Вступ.....	4
1. Загальні положення	4
2. Теоретичні відомості. Плазмові розпилювачі	6
3. Методика розрахунку дугових плазмотронів лінійної схеми.....	7
4. Приклад розрахунку плазмотрона	13
5. Розрахунок ресурсу роботи аноду	15
6. Визначення характеристик плазмотронів	16
7. Вибір джерела живлення плазмотронів	17
Додаток А. Довідкові таблиці	21
Додаток Б. Конструкції плазмових розпилювачів	24
Додаток В. Установки для плазмового напилення	27
Варіанти завдань.....	31
Список використаної літератури	32

ВСТУП

Дисципліна “Обладнання та технологія для газотермічного нанесення покриття” у відповідності з узагальненим об’єктом діяльності бакалавра за напрямком 6.050504 “Зварювання”- охоплює обладнання для створення поверхонь газотермічними методами нанесення покриття.

Вона належить до дисциплін професійної та практичної підготовки нормативної частини державної освітньо-професійної програми підготовки бакалаврів за напрямком 6.050504 „Зварювання”.

1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Розрахунково-графічна робота дозволяє систематизувати теоретичні знання отримані на лекціях та практичних, лабораторних роботах з курсу «Обладнання та технологія для газотермічного нанесення покриття -1. Обладнання», навчитися принципам конструювання деяких окремих вузлів розпилювачів і установок, набути навичок їх розрахунків. Виконання розрахунково-графічної роботи (РГР) заключний етап вивчення курсу «Обладнання та технологія для газотермічного нанесення покриття».

Мета РГР- закріпити теоретичні знання і набути практичні навички по розрахунку і конструюванні обладнання для газотермічного напilenня.

1.1. Завдання на РГР

Тема РГР проектування обладнання одного з газотермічних способів нанесення покриття. Завдання та варіант знаходяться в таблиці додатку Д.1.

1.2. Зміст та оформлення РГР.

РГР складається з пояснювальної записки та графічної частини.

Пояснювальна записка оформлюється з урахуванням вимог ДСТУ 3008-95. рукописний або електронний текст розміщується на одній стороні аркуша паперу формату А4. Пояснювальна записка повинна мати наскрізну нумерацію сторінок, починаючи з титульного листа. Кількість ілюстрації повинна бути не менше 3 аркушів креслень, або схем форматом А4.

Пояснювальна записка в РГР повинна включати:

- завдання;
- зміст;
- аналіз вихідних даних;
- вимоги які висуваються до установки газотермічного нанесення покриття;
- призначення та область застосування розпилювача, установки, перелік складу обладнання, структурні схеми підключення ;
- обґрунтування вибору конструкції розпилювача, принцип дії;
- розрахунок режимних та геометричних параметрів розпилювача (електричні, теплові, газодинамічні) ;
- при розрахунку **плазмового розпилювача**, це розрахунок геометричних та газодинамічних параметрів соплової частини плазмотрону (анодний вузол),

матеріал та розміри електродів , катодної частини розпилювача, теплового потоку і розмірів охолоджувальних вузлів.

- перелік посилань.

Набір креслень повинен складатися з складального креслення плазмотрону, креслення деталювання розрахованих вузлів плазмотрона (не менше 4 деталей на аркуші), креслення загального вигляду установки для плазмового способу напилення. Склад креслень може змінюватись по завданню викладача , де можуть додаватись електричні схеми підключення плазмотрону до установки, або схеми газопостачання плазмової установки та ін.

Прийом робіт викладачем проводиться по мірі їх виконання.

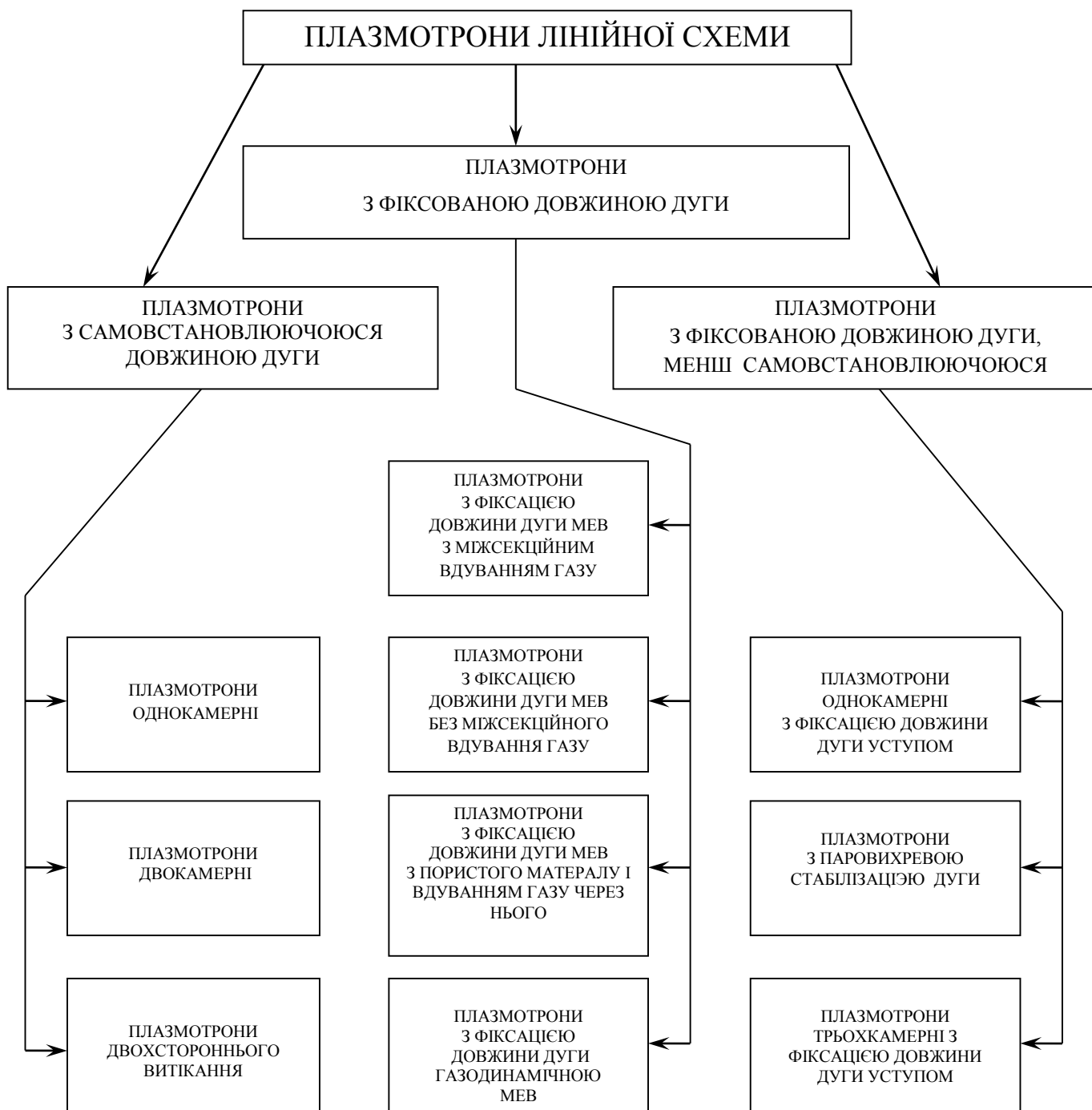
У методичних вказівках викладено опис і суть методики виконання та оформлення розрахунково-графічних робіт.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Плазмові розпилювачі

Найбільш поширеними конструкціями промислових генераторів плазми є плазмотрони з самоустановлювальною довжиною дуги. Найбільш прості в конструктивному виконанні є плазмотрони однокамерних схем. Стабілізація дуги на осі електродугової камери відбувається за допомогою закручування газу.

Класифікація промислових плазмотронів



3. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ДУГОВИХ ПЛАЗМОТРОНІВ ЛІНІЙНОЇ СХЕМИ

Вихідними даними для розрахунку є наступні параметри:

1. Номінальна потужність плазмотрона.

2. Діапазон регулювання потужності, мінімальна та максимальна потужність.

3. Робочий тиск газу у розрядній камері.

4. Склад плазмоутворюючого газу.

Методика розрахунку складається з кількох основних розділів:

а) розрахунок робочих електричних, газодинамічних та геометричних параметрів;

б) теплові розрахунки та розрахунки теплотехнічних характеристик плазмотрона;

в) розрахунок ресурсу роботи плазмотрона.

Визначаються: Робоче значення напруги дуги (U), ентальпія (температура) плазмового струменя, тепловий коефіцієнт корисної дії (η), витрата плазмоутворюючого газу (G), внутрішній діаметр вихідного електрода (d), його довжина (l), безперервний ресурс роботи плазмотрона.

Розрахунок плазмового генератора починається із визначення потужності плазмотрона, яка забезпечує нагрівання та прискорення потрібної кількості дисперсного матеріалу. Аналіз існуючих серійних та експериментальних установок плазмового напилення дозволяє оцінити питомі енерговитрати γ на нагрівання матеріалу. При напиленні керамічних матеріалів вони складають : $7 \div 12$ кВт год. / кг ; для металевих матеріалів - $3 \div 8$ кВт год. / кг.

Маючи на увазі, що

$$\gamma = \frac{P_{\Sigma}}{G_m} \quad (2.1)$$

одержуємо :

$$P_{\Sigma} = \gamma \cdot G_m, \quad (2.2)$$

де P_{Σ} - сумарна потужність плазмотрона, кВт ; G_m - продуктивність напилення, кг/год.

Проводиться також тепловий розрахунок елементів плазмового генератора. На рис.2.1 наведені основні принципові схеми дугових плазмотронів лінійної схеми.

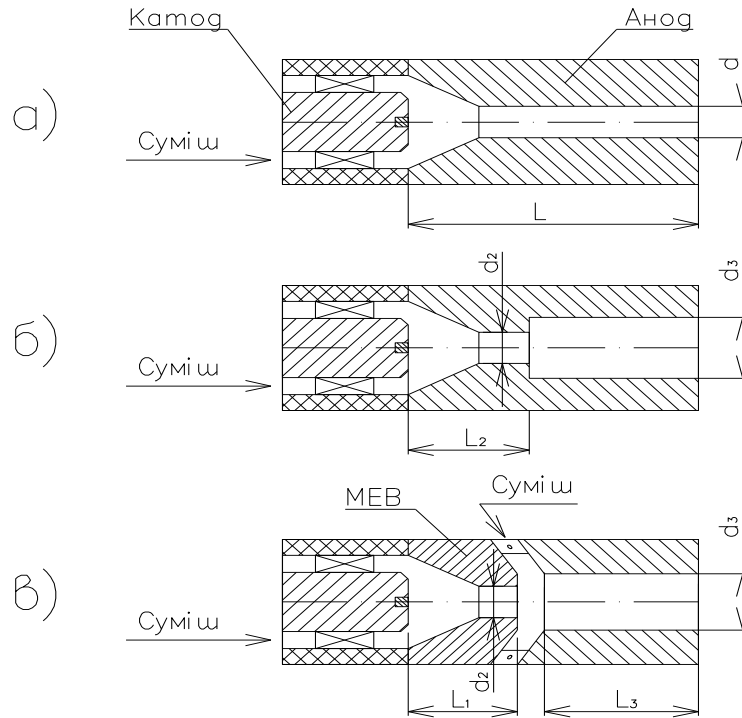


Рис.2.1. Принципові схеми плазмотронів:

а - плазмотрон з гладким каналом; б - з ступінчастим анодом; в - з між електродною вставкою

У процесі розрахунку використовується система рівнянь, до якої входять: Вольт-амперні характеристики плазмотрона з гладким вихідним електродом при роботі на повітрі та азоті:

$$U = 26757 \left(\frac{I^2}{Gd} \right)^{-0.226} \cdot \left(\frac{G}{d} \right)^{0.329} \cdot (pd)^{0.053}, \quad (2.3)$$

при роботі на газоповітряній суміші:

$$U = 24792 \left(\frac{I^2}{Gd} \right)^{-0.17} \cdot \left(\frac{G}{d} \right)^{0.388} \cdot (pd)^{-0.119} \cdot (1 + A \cdot n)^{0.477} \quad (2.4)$$

для метану (CH_4) $A=1$; для пропану (C_3H_8) $A=2.5$; для бутану (C_4H_{10}) $A=3.4$; для пропан-бутану (50% пропану і 50 % бутану) $A=2.7$,

при роботі на аргоні :

$$U = 6689 \left(\frac{I^2}{Gd} \right)^{-0.226} \cdot \left(\frac{G}{d} \right)^{0.329} \cdot (pd)^{0.053}, \quad (2.5)$$

де U - напруга на дузі, В; I - струм, А ; G - вагова витрата плазмоутворюючого газу, кг/с ; d - діаметр анода, м; p - тиск плазмоутворюючого газу Н/м² ; n - вміст вуглеводневого газу в суміші.

Вольт-амперні характеристики плазмотрона із ступінчастим вихідним електродом при роботі на повітрі та азоті:

$$U = 750 \left(\frac{I^2}{Gd_2} \right)^{-0.111} \cdot \left(\frac{G}{d_2} \right)^{0.261} \cdot (pd_2)^{0.238} \cdot \left(\frac{d_2}{l_2} \right)^{-0.4}, \quad (2.6)$$

при роботі на газоповітряній суміші :

$$U = 438 \left(\frac{I^2}{Gd_2} \right)^{-0.134} \cdot \left(\frac{G}{d_2} \right)^{0.342} \cdot (pd_2)^{0.392} \cdot \left(\frac{d_2}{l_2} \right)^{-0.4} \cdot (1 + An)^{0.778}, \quad (2.7)$$

при роботі на аргоні :

$$U = 187.5 \left(\frac{I^2}{Gd_2} \right)^{-0.111} \cdot \left(\frac{G}{d_2} \right)^{0.261} \cdot (pd_2)^{0.238} \cdot \left(\frac{d_2}{l_2} \right)^{-0.4} \quad (2.8)$$

Вольт-амперні характеристики плазмотрона з МЕВ при роботі на газоповітряній суміші :

$$U = 85.09 \left(\frac{I^2}{Gd_1} \right)^{-0.183} \cdot \left(\frac{G}{d_1} \right)^{0.37} \cdot (pd_1)^{0.35} \cdot \left(\frac{d_1}{d_3} \right)^{-0.39} \cdot \left(\frac{l_1}{d_3} \right)^{1.3} \cdot (1 + An)^{1.82}, \quad (2.9)$$

для метану $A=1$; для пропану $A=2.5$; для бутану $A=3.4$; для пропан-бутану $A=2.7$,
при роботі на повітрі :

$$U = 61.22 \left(\frac{I^2}{Gd_1} \right)^{-0.183} \cdot \left(\frac{G}{d_1} \right)^{0.37} \cdot (pd_1)^{0.35} \cdot \left(\frac{d_1}{d_3} \right)^{-0.39} \cdot \left(\frac{l_1}{d_3} \right)^{1.3}, \quad (2.10)$$

Тепловий к.к.д. плазмотрона при роботі на повітрі або азоті, канал гладкий :

$$\eta_t = 0.882 \left(\frac{I^2}{Gd} \right)^{-0.054} \cdot \left(\frac{G}{d} \right)^{0.229} \cdot (pd_1)^{0.136}, \quad (2.11)$$

Тепловий к.к.д. плазмотрона при роботі на аргоні, повітрі або азоті, канал ступінчастий :

$$\eta_t = 1.0377 \left(\frac{I^2}{Gd_2} \right)^{-0.054} \cdot \left(\frac{G}{d_2} \right)^{0.229} \cdot (pd_2)^{0.136} \cdot \left(\frac{d_2}{d_3} \right)^{0.055} \quad (2.12)$$

Тепловий к.к.д. плазмотрона при роботі на газоповітряній суміші, канал гладкий:

$$\eta_t = 0.534 \left(\frac{I^2}{Gd} \right)^{-0.066} \cdot \left(\frac{G}{d} \right)^{0.244} \cdot (pd_2)^{0.241} \cdot \left(\frac{l}{l_2} \right)^{0.079} \cdot (1 + An)^{0.515} \quad (2.13)$$

для метану A=1; для пропану A=2.5; для бутану A=3.4; для пропан-бутану A=2.7.

Тепловий к.к.д. плазмотрона при роботі на газоповітряній суміші, канал ступінчастий :

$$\eta_t = 0.627 \left(\frac{I^2}{Gd} \right)^{-0.066} \cdot \left(\frac{G}{d_1} \right)^{0.244} \cdot (pd_1)^{0.241} \cdot \left(\frac{d_1}{d_3} \right)^{0.059} \cdot \left(\frac{l}{l_2} \right)^{0.079} \cdot (1 + An)^{0.515} \quad (2.14)$$

Тепловий к.к.д. плазмотрона з МЕВ при роботі на повітрі :

$$\eta_t = 0.42 \left(\frac{I^2}{Gd} \right)^{-0.057} \cdot \left(\frac{G}{d_1} \right)^{0.23} \cdot (pd_1)^{0.26} \cdot \left(\frac{d_1}{d_3} \right)^{0.057} \cdot \left(\frac{l_1}{d_1} \right)^{-0.079} \cdot \left(\frac{l_3}{d_3} \right)^{-0.12} \quad (2.15)$$

Тепловий к.к.д. плазмотрона з МЕВ при роботі на газоповітряній суміші:

$$\eta_t = 0.441 \left(\frac{I^2}{Gd_1} \right)^{-0.057} \cdot \left(\frac{G}{d_1} \right)^{0.23} \cdot (pd_1)^{0.26} \cdot \left(\frac{d_1}{d_3} \right)^{0.057} \cdot \left(\frac{l_1}{d_1} \right)^{-0.079} \cdot \left(\frac{l_3}{d_3} \right)^{-0.12} \cdot (1 + An)^{0.877} \quad (2.16)$$

для метану A=1; для пропану A=2.5; для бутану A=3.4; для пропан-бутану A=2.7.

Потужність, яка вкладається в дугу, Вт:

$$N_d = UI \quad (2.17)$$

Енергія струменя , який витікає із плазмотрона, Вт:

$$UI\eta = G(h - h_n), \quad (2.18)$$

де h , h_n відповідно текуче і початкове значення ентальпії плазмового струменя.

Наведена система не замкнена, тому додатково вводимо ще дві умови, які встановлюють взаємодію між параметрами, які шукаються.

Одна з цих умов, встановлена дослідним шляхом, визначає, що при температурі плазмового струменя $T=(3000 \div 6000)$ К і тиску в дуговій камері

$p = (1-5) \cdot 10^5$ $p=(1-5)10^5 \text{ Н/м}^2=0,1-0,5 \text{ МПа}$, відносна довжина вихідного електрода приймається рівною:

$$l/d=7 \div 8 \text{ і } l_3/d_3=3 \div 4 \quad (2.19)$$

Із умови (2.19) витікає, що діаметр електродугової камери повинен бути

$$d \geq \left(\frac{G}{\pi \xi_{кр} a_{кр}} \right)^{0,5}, \quad (2.20)$$

Звичайно приймають

$$d = (1.1 \div 1.3) d_{кр}, \quad (2.21)$$

Для розрахунку газоповітряних плазмотронів можна використовувати спрощену формулу :

$$d_{кр} = F(\varepsilon) V_0^{0.5} \quad (2.22)$$

де ε - питомий енерговнесок у дугу, кВт год./м³,

$$F(\varepsilon) = 1.3516 \varepsilon^{0.25} \cdot (1.5821 c_{pm} - 0.04) \cdot c_{pm}^{-0.75} \quad (2.23)$$

Довжина l_2 вихідного електрода надає істотне значення на напругу і струм дуги. Зміною l_2 (при заданих G , d_2 , p) досить просто регулювати напругу U і потужність P . l_2 знаходиться по формулі:

$$l_2 = 0.231 \left(\frac{I^2}{G d_2} \right)^{-0.20} \cdot \left(\frac{G}{d_2} \right)^{0.25} \cdot (p d_2)^{0.35} \quad (2.24)$$

Перевіряємо достовірність взятого значення теплового КПД η_T . Для цього проводиться розрахунок η_T по формулі:

$$\frac{1-\eta_T}{\eta} = 9 \cdot 10^5 \left(\frac{I^2}{G d_2} \right)^{0.10} \cdot \left(\frac{G}{d_2} \right)^{-0.27} \cdot (p d_2)^{0.3} \cdot \bar{i}^{0.5}, \quad (2.25)$$

де $i=l_1/d_1 + l_2/d_2 + l_3/d_3$.

У плазмотронах, які використовують кисневі та азотні компоненти суміші застосовуються термохімічні катоди з активною цирконієвою або гафнієвою вставкою, які допускають граничний струм для цирконію - 350 А і для гафнію - 400 А. Термостійкі катоди спроможні витримувати значно більші струми (до 1000 А і більше), але приймаючи до уваги підвищення питомої ерозії анода, струм дуги обмежується 400 - 500 А.

У плазмотронах, які розробляються, доцільно використовувати серійні термохімічні катоди. Це катоди типу ОБ 1541, ОБ 1542, ЕСР-02, ЕСМ-01, ЕП-03. На рис. 3.4 наведені основні характерні розміри цих електродів. У табл. 3.2 наведені технічні характеристики серійних електродів.

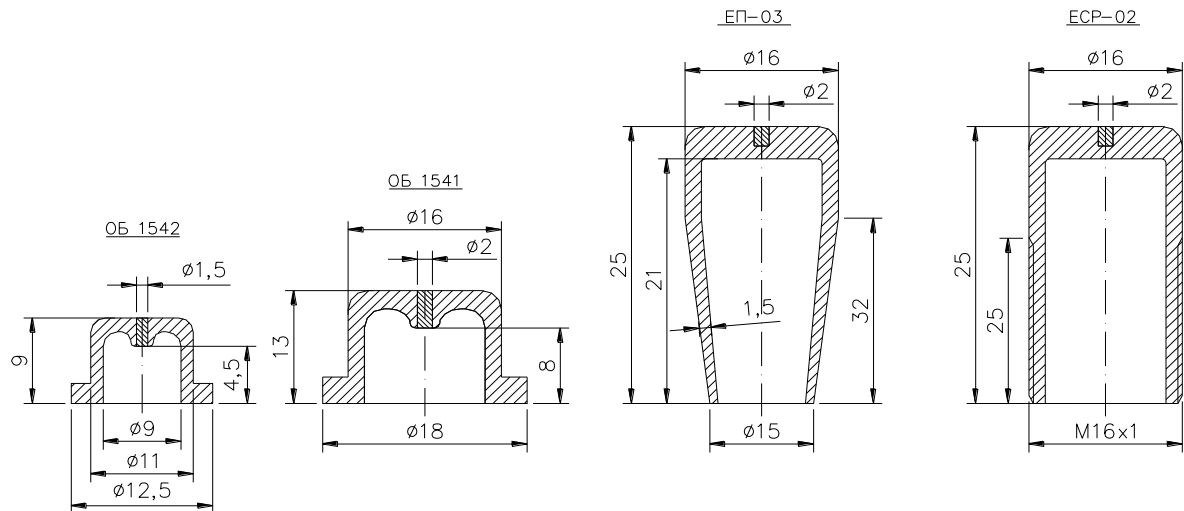


Рис 2.2 Основні типи серійних термохімічних електродів

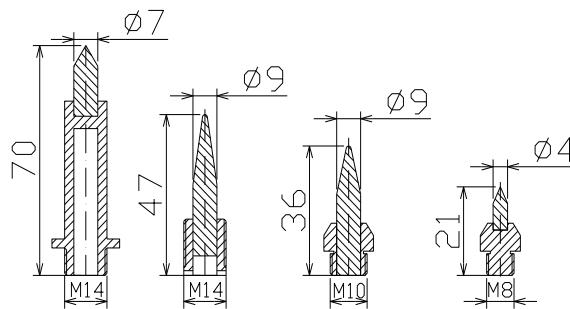


Рис 2.3 Основні типи серійних термоємисійних електродів

4. ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ ПЛАЗМОТРОНА

Провести розрахунки плазмотрона зворотної дії, робочий газ повітря, початкова температура повітря (на вході) $T_1=300\text{K}$, кінцева температура повітря (на виході) $T_2=6000\text{K}$, витрати повітря $G=2,2\cdot 10^{-3}\text{ кг/с}$, тиск повітря на виході з плазмотрона $p=10^5\text{ Па}$.

Катод - стрижневий, анод - циліндричний гладкий, стабілізація дуги – газо-вихрова.

Потрібно визначити наступні параметри: робочі значення напруги U та струму I , тепловий коефіцієнт корисної дії η , геометричні розміри електродугового камери (l, d) і катода, що забезпечують високий ресурс роботи системи.

Схема розраховується плазмотрона представлена на рис. 3.1.

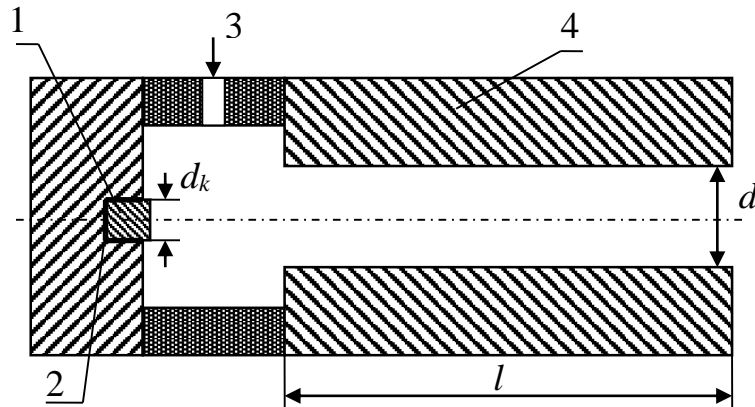


Рис. 3.1. Схема плазмотрона

Плазмотрон складається з катода 1, катодотримача 2, системи подачі робочого газу 3, анода 4.

Для розрахунку розмірів плазмотрона задамося наступними константами

- критична швидкість звуку при 6000 К $\alpha_{кр} = 1608,6\text{ м/с}$;
- критична густина повітря при 6000 К $\rho_{кр} = 0,035\text{ кг/м}^3$;
- початкова ентальпія $h_{п} = 3 \cdot 10^5\text{ Дж/кг}$;
- кінцева ентальпія $h_{к} = 15,402 \cdot 10^6\text{ Дж/кг}$.

При розрахунку параметрів плазмотрона скористаємося наступними рівняннями:

- вольтамперної характеристики

$$U = 1290 \left(\frac{I^2}{Gd} \right)^{-0.15} \cdot \left(\frac{G}{d} \right)^{0.3} \cdot (pd)^{0.3} \quad (3.1)$$

- теплового КПД плазмотрона

$$\frac{1-\eta}{\eta} = 5.85 \cdot 10^5 \left(\frac{I^2}{Gd} \right)^{0.27} \cdot \left(\frac{G}{d} \right)^{-0.27} \cdot (pd)^{0.3} \cdot \left(\frac{l}{d} \right)^{0.5} \quad (3.2)$$

- енергії витікаючого струменя

$$\eta = \frac{G(h - h_n)}{UI} \quad (3.3)$$

Представлена система рівнянь не замкнута, тому необхідно ввести ще одну умову, яка встановлює взаємозв'язок між параметрами, які знаходяться. Ця умова визначає відсутність теплового запирання в каналі циліндричного електрода. З цією метою внутрішній діаметр електрода вибирається на 10-30% більше критичного. У нашому розрахунку приймемо $d = 1.3d_{кр}$.

Тоді ми можемо розрахувати діаметр розрядного каналу плазмотрона за наступною формулою

$$d = 2.6 \sqrt{\frac{G}{\pi \rho a_{кр}}} = 2.6 \sqrt{\frac{2.2 \cdot 10^{-3}}{3.14 \cdot 0.035 \cdot 1608.6}} = 9.2 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (3.4)$$

Вирішуючи отриману систему рівнянь за допомогою MathCAD, отримаємо

$$\eta = \frac{2.2 \cdot 10^{-3} \cdot (15.402 \cdot 10^6 - 3 \cdot 10^5)}{U \cdot I}$$

$$U = 1290 \left(\frac{I^2}{2.2 \cdot 10^{-3} \cdot 0.0092} \right)^{-0.15} \cdot \left(\frac{2.2 \cdot 10^{-3}}{0.0092} \right)^{0.3} \cdot (10^5 \cdot 0.0092)^{0.25}$$

$$\frac{1-\eta}{\eta} = 5.85 \cdot 10^5 \left(\frac{I^2}{2.2 \cdot 10^{-3} \cdot 0.0092} \right)^{0.27} \cdot \left(\frac{2.2 \cdot 10^{-3}}{0.0092} \right)^{-0.27} \cdot (10^5 \cdot 0.0092)^{0.3} \cdot \left(\frac{0.184}{0.0092} \right)^{0.5}$$

$$Minner(I, U, \eta) = \begin{pmatrix} 338.143 \\ 224.139 \\ 0.438 \end{pmatrix}$$

Таким чином, отримаємо наступні характеристики: сила струму – 340А, напруга дуги – 225В, тепловий ККД – 44%. Потужність розрахованого плазмотрона складає 76 кВт.

Розрахуємо діаметр отворів, через які подається повітря у вихрову камеру. Для ефективності стабілізації дугового розряду на осі каналу газовим вихром і зниження ерозії матеріалу катода, викликаній впливом плями дуги, необхідно забезпечити швидкість газу на виході з кільця закрутки в межах 150-200 м/с.

При початковій температурі повітря $T=300$ К, $p=5 \cdot 10^5$ Н/м², $\rho = 5,88$ кг/м³, обраної тангенціальної складової швидкості $v_\phi=175$ м/с, сумарна площа отворів $F_\phi=G/(\rho v_\phi)$ складе $58,3 \cdot 10^{-6}$ м², при кількості отворів рівному 8, діаметр кожного з них розраховуємо по формулі дорівнюватиме $d_\phi=3 \cdot 10^{-3}$ м.

$$d_{cp} = \frac{1}{2}(d_e + d_0),$$

де d_e – діаметр електроду, м.

5. РОЗРАХУНОК РЕСУРСУ РОБОТИ АНОДУ

Довжина ерозійної зони в гладкому циліндричному каналі визначається великомасштабним шунтуванням. При роботі на повітрі в діапазоні струмів від 100 до 500А та витрат газу $(10-70) \cdot 10^{-3}$ кг/с вона дорівнює $3-5d$. Форму ерозійної поверхні електроду для простоти розрахунку представимо у вигляді різнобічного трикутника, основа якого дорівнює розмаху великомасштабного шунтування, а висота - допустимій виробленні товщини стінки електроду.

Прийmemo довжину ерозійної зони $\Delta l_{ep}=4d$, а глибину допустимої вироблення рівною $h_{ep}=5 \cdot 10^{-3}$. У цьому випадку об'єм ерозійного матеріалу дорівнює

$$V_{ep} = 2\pi h_{ep} d \left(d + \frac{2}{3} h_{ep} \right) = 2 \cdot \pi \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,009 \cdot \left(0,009 + \frac{2}{3} \cdot 5 \cdot 10^{-3} \right) = 3,49 \cdot 10^{-6} \quad (2.26)$$

Для мідного електроду ($\rho_a=8,9 \cdot 10^3$ кг/м³), маса матеріалу, що уноситься дорівнює

$$m_a = \rho_a \cdot V_{ep} = 8,9 \cdot 10^3 \cdot 3,49 \cdot 10^{-6} = 0,031 \text{ кг} \quad (4.1)$$

При питомій ерозії мідного електроду, рівній

$$\bar{G}_{y\phi} = \frac{m}{I\tau_a} = 5 \cdot 10^{-10} \text{ кг/Кл}$$

Час роботи електроду складе

$$\tau_a = \frac{0.031}{340 \cdot 5 \cdot 10^{-10}} = 1.83 \cdot 10^5 \text{ с або } 50.7 \text{ годин.}$$

Таким чином, час безперервної роботи плазмотрона визначається стійкістю (ресурсом) катода і анода 9.4 години.

6. ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАЗМОТРОНІВ

Вольтамперна характеристика (ВАХ) дуги (рис. 3.1) відображає залежність напруги від сили струму при не змінних геометричних розмірах електродугової камери, витрати газу, його тиску в характерному перерізі та інших визначальних параметрів. Для плазмотронів з гладким вихідним електродом ВАХ має падаючий вигляд, і описується наступним рівнянням:

$$U(I) = 1290 \left(\frac{I^2}{Gd} \right)^{-0.15} \cdot \left(\frac{G}{d} \right)^{0.3} \cdot (pd)^{0.3} \quad (5.1)$$

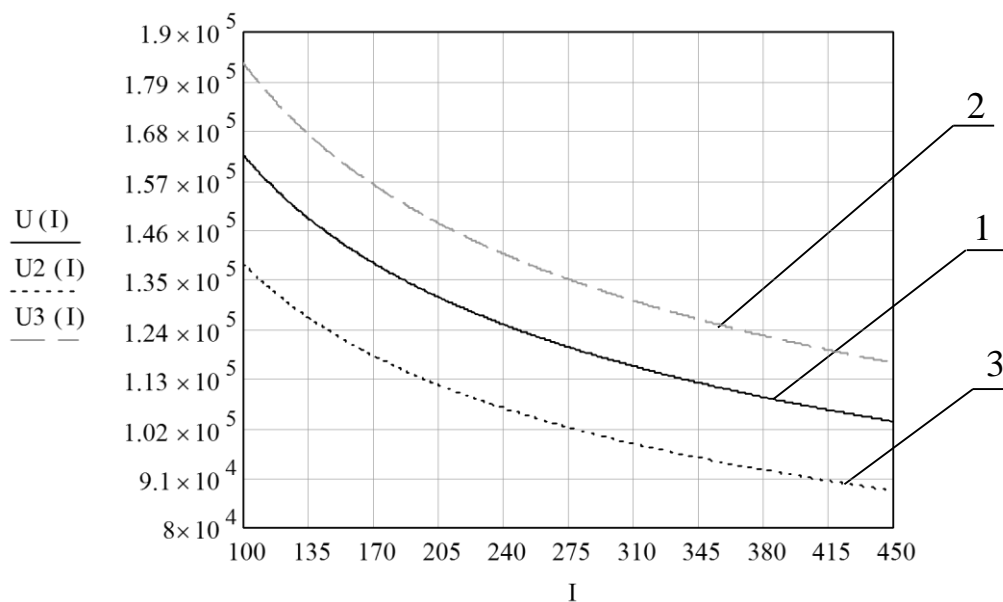


Рис. 5.1. Вольтамперна характеристика плазмотрона
1 - $G=2.2 \cdot 10^3$ кг/с; 2 - $G=2.86 \cdot 10^3$ кг/с; 3 - $G=1.54 \cdot 10^3$ кг/с

Крива, що показує залежність теплового ККД від сили струму при інших незмінних параметрах описується наступним рівнянням

$$\eta(I) = \frac{G(h - h_n)}{UI} \quad (5.2)$$

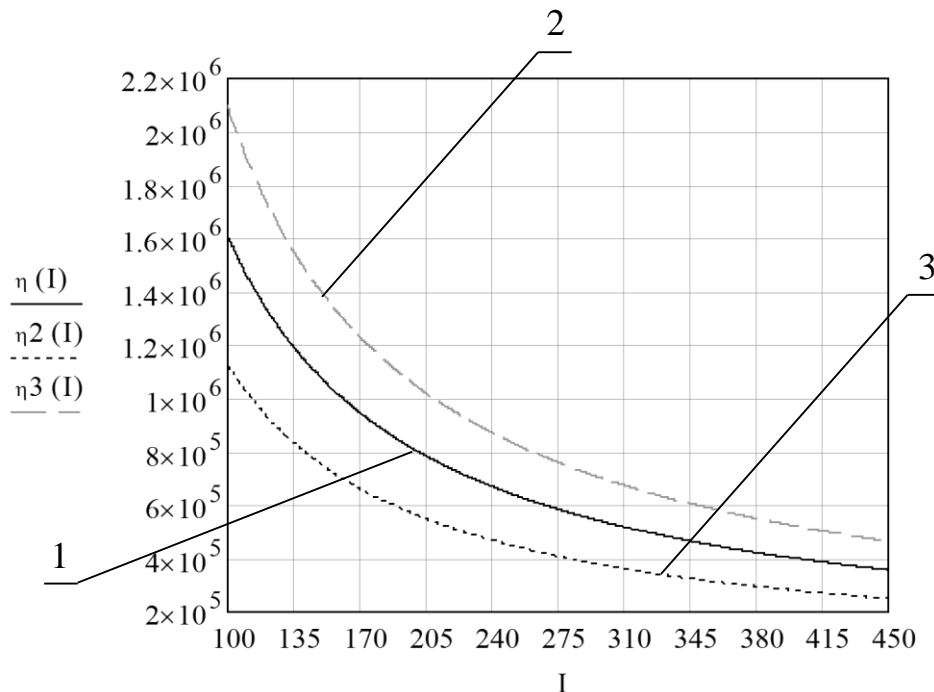


Рис. 5.2. Залежність теплового ККД:

1 - $G=2.2 \cdot 10^3$ кг/с; 2 - $G=2.86 \cdot 10^3$ кг/с; 3 - $G=1.54 \cdot 10^3$ кг/с

7. ВИБІР ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ПЛАЗМОТРОНІВ

В момент запуску плазмотрона головну роль відіграє джерело живлення, яке повинно забезпечувати не тільки стійкі робочі вольт-амперні характеристики плазмотрона, але й надати достатню напругу для пробую, необхідного для запуску плазмотрона. Тому напруга холостого ходу джерела живлення повинна бути більша робочої напруги дуги плазмотрона. Як було показано вище, робоча напруга на дузі плазмотрона 225В, сила струму - 340А. Приймаються коефіцієнт запасу по напрузі рівним 1,3. Тоді напруга холостого ходу джерела живлення складе $U_{xx}=1,3U=1,3 \cdot 225=292$ В

Найбільш підходящим є джерело живлення ВПН-630, що забезпечує наступні показники: номінальна напруга - 280В, номінальна сила струму - 350А, номінальна потужність - 98 кВт. Для вибору джерел живлення для плазмового наплення використовуємо табл. 6.1-6.2

Таблиця 6.1 - Технічні характеристики джерел живлення плазмотронів які працюють на плазмоутворюючій суміші; повітря, повітрі + % C_xH_y, азот.

Пара- метри	Київ -4	БЭП -40	БЭП -80	ПН 160/600	АПР -402	АПР -401	АПР -403	АПР -404	УПР - 201	ВПН -630
I_{min}	100	80	100	410 310 240	100	100	150	200	150	50 50
I_{max}	300	200	315	900 780 625	450	450	400	500	250	700 350
U_{xx}	180 220 ±10%	+15 250 -28	+20 380 -38	92 138 184 ±10%	300 ±10 %	300 ±10 %	300 ±10 %	320 ±10%	180 ±10%	140 280 ±10 %
U_n	180 220	220	260	30 50 70	250	200	200	270	150	120 240
I_n	200	200	315	600	400	400	400	400	200	630 315
η	0,9	0,85	0,85	0,6	0,88	0,64	0,65	0,84	0,86	0,7

Таблиця 6.2 - Технічні характеристики джерел живлення плазмотронів які працюють на плазмо утворюючих газах, аргон, аргон +% гелій, аргон+%водень.

Пара- метри	ВД- 301	ВКС- 500	СТШ- 500	ВДУ- 504	ВДУ 601	ВДУЧ -500	ВДУ- 1201	ВДУ- 1601
I_{min}	100	200	100	70	60	80	300	500
I_{max}	300	500	500	500	-630	500	1200	1600
U_{xx}	35 65	40 70	30 60	35 80	85	12-65	100	100
$P, \text{кВт}$	20	38	33	40	37,8	32,5	120	155
η	0,7	0,75	0,7	0,83	0,82			

Для підключення плазмотронів до джерела живлення використовуються наступні схеми та підходи.

При підключенні плазмотрону з потужністю до 100кВт (рис.6.1) до джерела живлення 1 , осцилятор 2, який призначений для ініціювання допоміжної дуги і створення електропровідної області для утворення основної дуги, підключається послідовно.

Допоміжна дуга утворюється між катодом 3 і міжелектродною вставкою (МЄВ) 4, після утворення основної дуги, між катодом 3 і анодом 5 вона вимикається. Для запобігання пошкоджень джерела живлення високочастотною напругою осцилятора передбачена захисна ємність C_1 . При підключенні більш потужного плазмотрону більш 100 кВт осцилятор підключається паралельно (рис. 6.2). В випадку, коли треба збільшити струм на плазмотроні, а джерело живлення не виробляється, можна застосувати паралельне з'єднання стандартних зварювальних джерел живлення (рис. 6.3) Для регулювання ВАХ в таких випадках використовують, баластні опори R_b та дроселі насичення D_n . Коли використовуються плазмотрони, де використовується плазма утворюючі гази де висока ступінь іонізації, вимагаються джерела живлення з високою напругою ХХ і не існує стандартного джерела живлення можна застосувати послідовне з'єднання стандартних зварювальних джерел живлення (рис. 6.4)

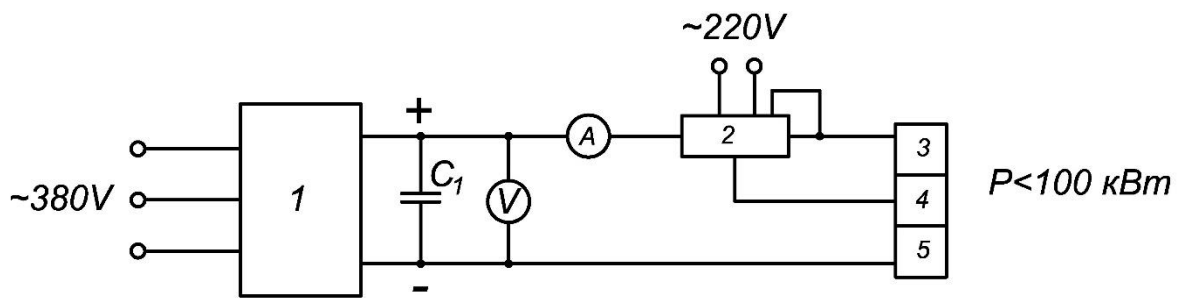


Рис.6.1.Підключення осцилятора послідовне.

1-джерело живлення,2-осцилятор,3-катод плазмотрона,4-МЄВ,5- анод плазмотрона.

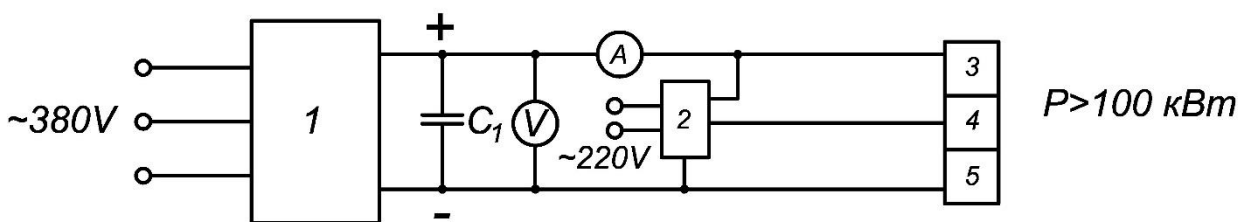


Рис.6.2.Підключення осцилятора паралельне.

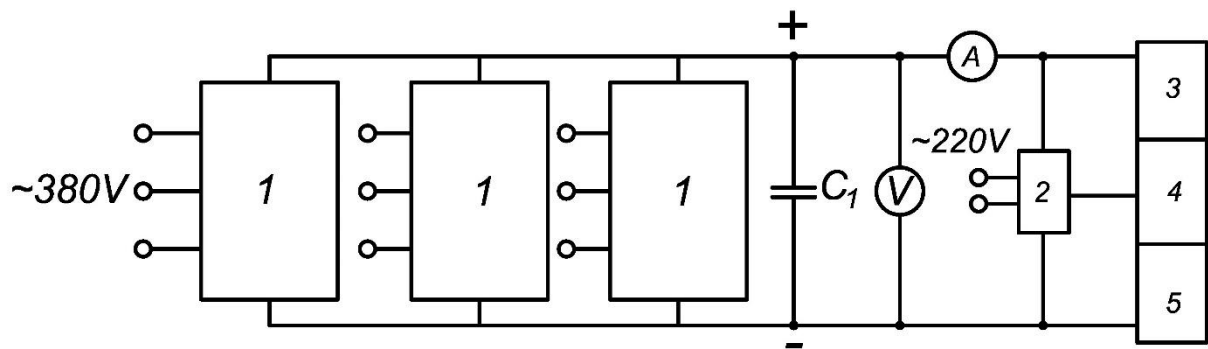


Рис.6.3.Підключення джерел живлення паралельне.

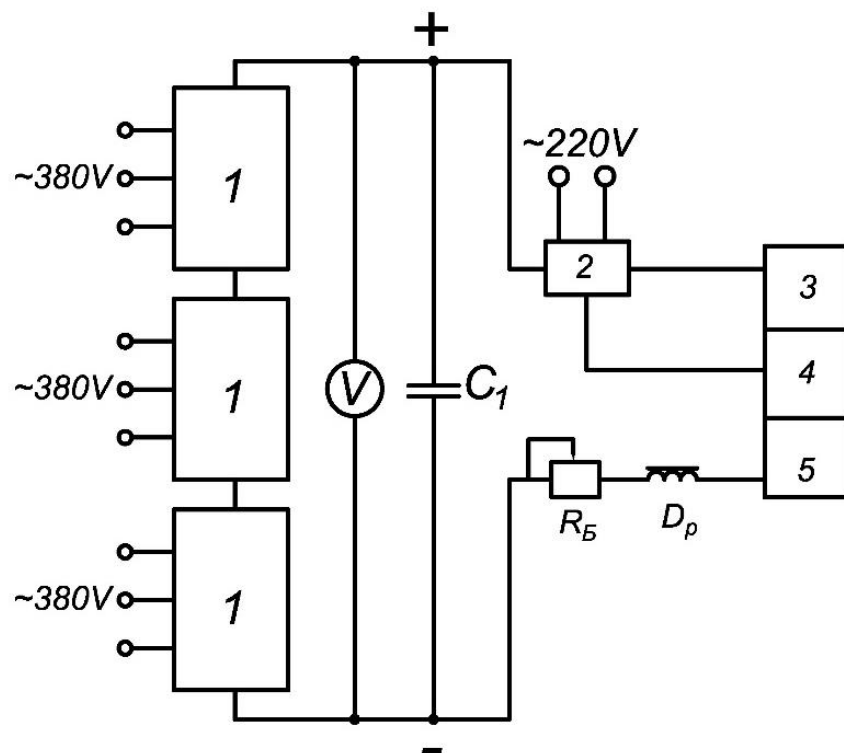


Рис. 6.4. Підключення джерел живлення послідовне.

Довідкові таблиці

Таблиця 1 - Термодинамічні властивості повітря в рідкому і газоподібному стані: v ($\text{дм}^3/\text{кг}$), i (кДж/кг), s і c_p ($\text{кДж/кг} \cdot \text{град}$)

$T, ^\circ\text{K}$	v	i	s	c_p	v	i	s	c_p
	$p = 1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па}$				$p = 2 \text{ бар} = 2 \cdot 10^5 \text{ Па}$			
200	572,8	199,7	6,463	1,007	285,7	199,2	6,263	1,011
210	601,7	209,7	6,512	1,006	300,2	209,3	6,312	1,010
220	630,5	119,8	6,559	1,006	314,8	219,4	6,359	1,010
230	659,4	229,9	6,604	1,006	329,2	229,5	6,404	1,009
240	688,2	239,9	6,647	1,006	343,7	239,6	6,447	1,009
250	717,0	250,0	6,688	1,006	358,2	249,7	6,488	1,008
260	745,8	260,0	6,727	1,006	372,6	259,7	6,527	1,008
270	774,6	270,1	6,765	1,006	387,1	269,8	6,565	1,008
280	803,4	280,2	6,802	1,006	401,5	279,9	6,602	1,008
290	832,2	290,2	6,837	1,006	415,9	290,0	6,637	1,008
300	861,0	300,3	6,871	1,007	430,4	300,1	6,671	1,008
310	889,8	310,4	6,904	1,007	444,8	310,1	6,705	1,008
320	918,5	320,4	6,936	1,007	459,2	320,2	6,737	1,009
330	947,3	330,5	6,967	1,008	473,6	330,3	6,768	1,009
340	976,0	340,6	6,997	1,009	488,0	340,4	6,798	1,010
350	1005	350,7	7,026	1,009	502,4	350,5	6,827	1,010
375	1077	375,9	7,096	1,012	538,4	375,8	6,897	1,012
400	1148	401,2	7,161	1,014	574,4	401,1	6,962	1,015
425	1220	426,7	7,223	1,017	610,4	426,6	7,024	1,018
450	1292	452,1	7,282	1,021	646,3	452,1	7,083	1,022
475	1364	477,7	7,337	1,025	682,3	477,7	7,138	1,026
500	1436	503,4	7,389	1,030	718,2	503,4	7,190	1,031
550	1580	555,2	7,488	1,040	790,1	555,1	7,289	1,041
600	1723	607,5	7,579	1,051	861,9	607,4	7,380	1,052
650	1867	660,3	7,664	1,063	933,7	660,3	7,465	1,063
700	2010	713,8	7,743	1,075	1006	713,8	7,544	1,075
750	2154	767,9	7,817	1,087	1077	767,9	7,618	1,087
800	2297	822,5	7,888	1,099	1149	822,5	7,689	1,099
850	2441	877,7	7,955	1,110	1221	877,8	7,756	1,110
900	2585	933,5	8,019	1,121	1293	933,6	7,820	1,121
950	2728	989,8	8,080	1,131	1365	989,9	7,881	1,132
1000	2872	1046,8	8,138	1,141	1436	1046,7	7,939	1,142

Таблиця 2 - Термодинамічні властивості дисоційованого повітря: v ($\text{м}^3/\text{кг}$), i (кДж/кг), s и c_p ($\text{кДж/кг} \cdot \text{град}$)

$T, ^\circ\text{K}$	v	i	s	c_p	v	i	s	c_p
	$p = 1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па}$				$p = 2 \text{ бар} = 2 \cdot 10^5 \text{ Па}$			
3000	8,813	4 071	9,6912	2,726	4,379	3 957	9,4503	2,382
3100	9,180	4 358	9,7855	3,032	4,552	4 207	9,5323	2,623
3200	9,569	4 677	9,8867	3,340	4,733	4 482	9,6196	2,881
3300	9,980	5 026	9,9938	3,624	4,924	4 783	9,7126	3,139
3400	10,42	5 400	10,1056	3,852	5,124	5 109	9,8096	3,381
3500	10,87	5 793	10,2196	3,994	5,334	5 458	9,9107	3,583
3600	11,33	6 195	10,3323	4,024	5,554	5 824	10,0138	3,724
3700	11,81	6 594	10,4421	3,937	5,781	6 200	10,1168	3,785
3800	12,28	6 979	10,5448	3,747	6,012	6 578	10,2176	3,758
3900	12,75	7 341	10,6389	3,490	6,247	6 949	10,3139	3,697
4000	13,22	7 676	10,7237	3,207	6,480	7 305	10,4042	3,470
4100	13,66	7 983	10,7995	2,936	6,710	7 642	10,4842	3,255
4200	14,09	8 265	10,8674	2,705	6,937	7 956	10,5630	3,032
4300	14,52	8 526	10,9288	2,529	7,158	8 249	10,6318	2,824
4400	14,94	8 772	10,9855	2,411	7,374	8 522	10,6947	2,651
4500	15,35	9 010	11,0389	2,352	7,586	8 780	10,7527	2,521
4600	15,75	9 245	11,0905	2,347	7,795	9 028	10,8072	2,438
4700	16,16	9 481	11,1414	2,393	8,001	9 269	10,8591	2,403
4800	16,56	9 725	11,1927	2,488	8,206	9 510	10,9098	2,414
4900	16,97	9 980	11,2453	2,629	8,411	9 754	10,9600	2,468
5000	17,39	10 252	11,3003	2,816	8,617	10 005	11,0108	2,563

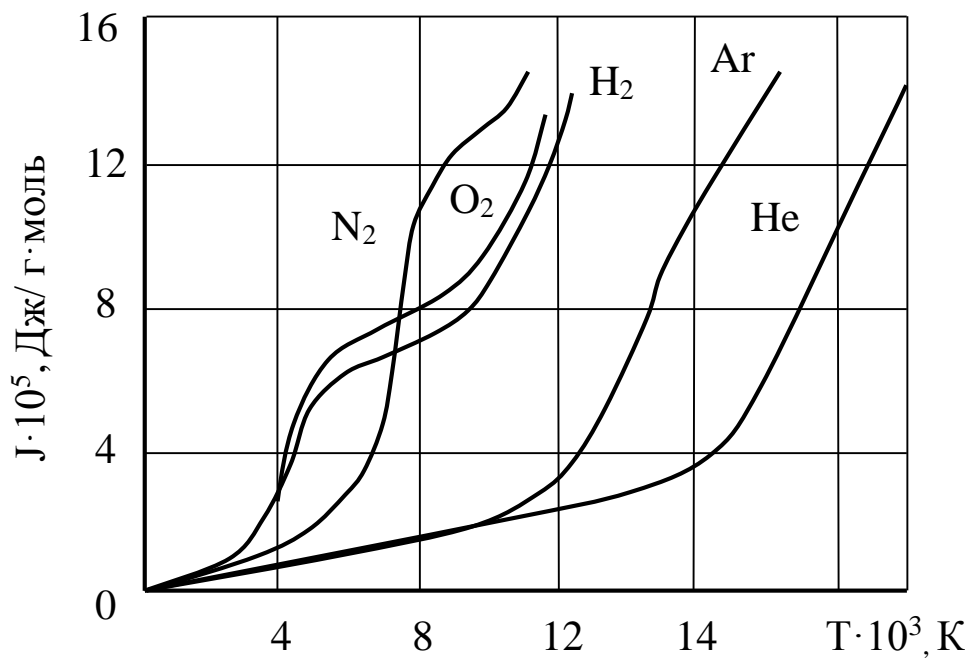


Рис. 7. Залежність середньомасової температури від ентальпії газу

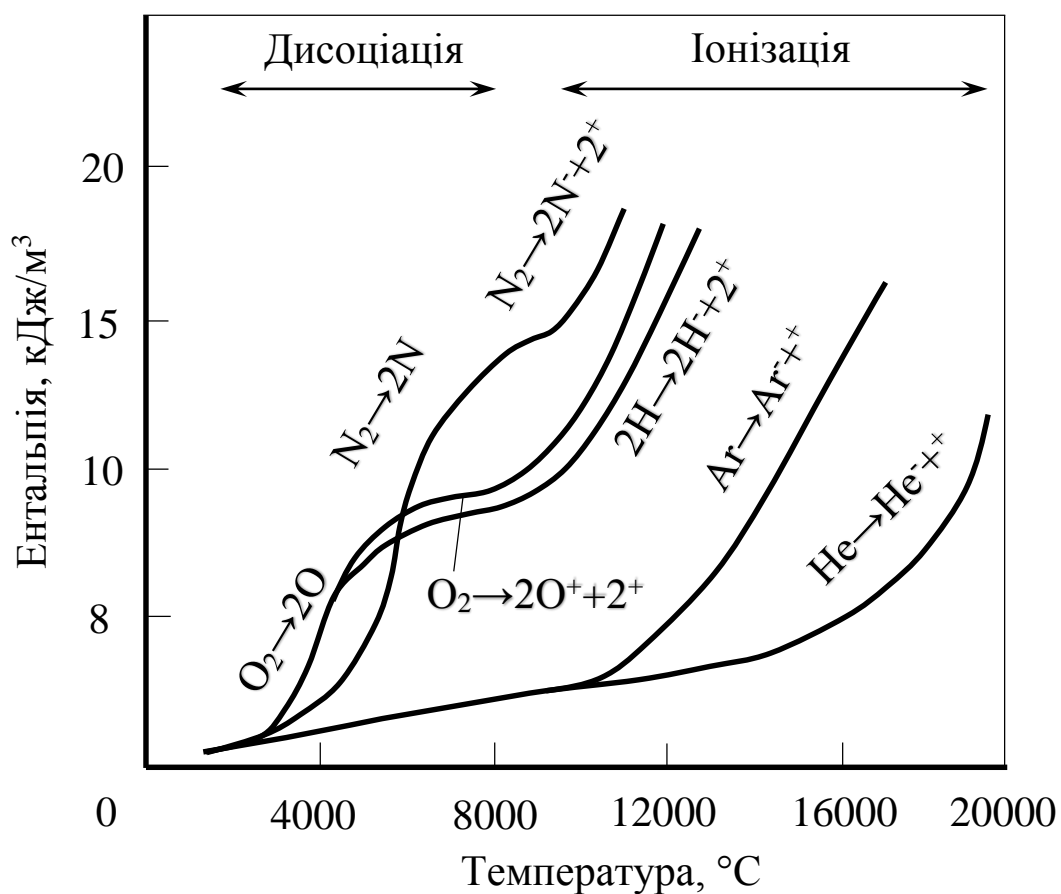


Рис. 8. Залежність середньомасової температури і ентальпії іонізованого та дисоційованого плазмоутворюючого газу

Конструкції плазмових розпилювачів

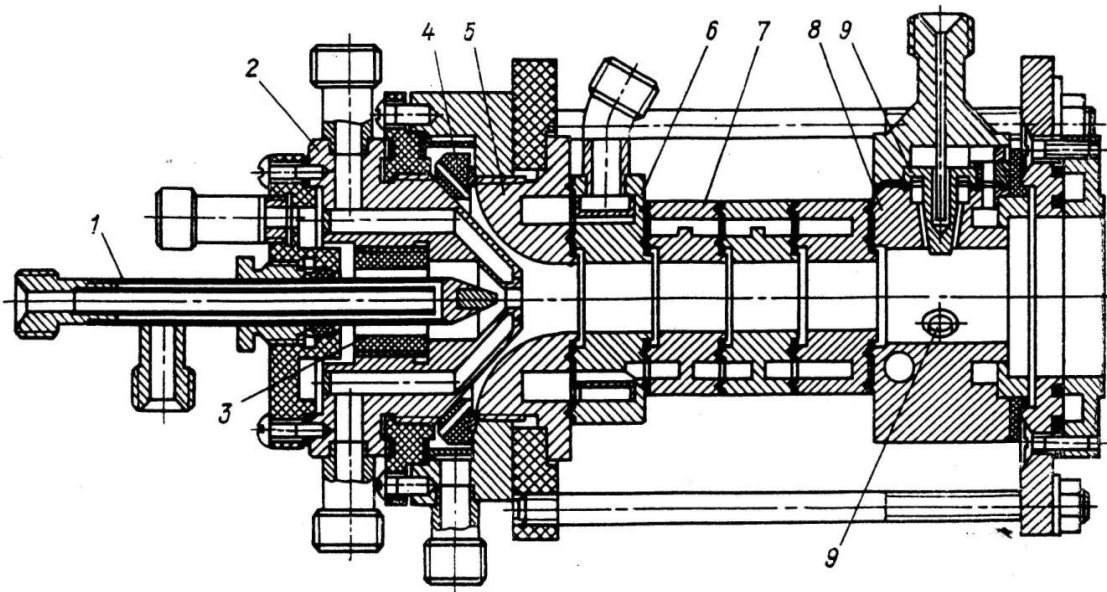


Рис. 1. Плазмотрон з розподіленою дугою ПРД-9 1 – катод, 2 – сопло входне, 3 – газоформував, 4 – газорозподільче кільце, 5 – секція вхідна, 6 – секція перехідна, 7 – секція МЕВ основна, 8 – сопло анодне, 9 – анод

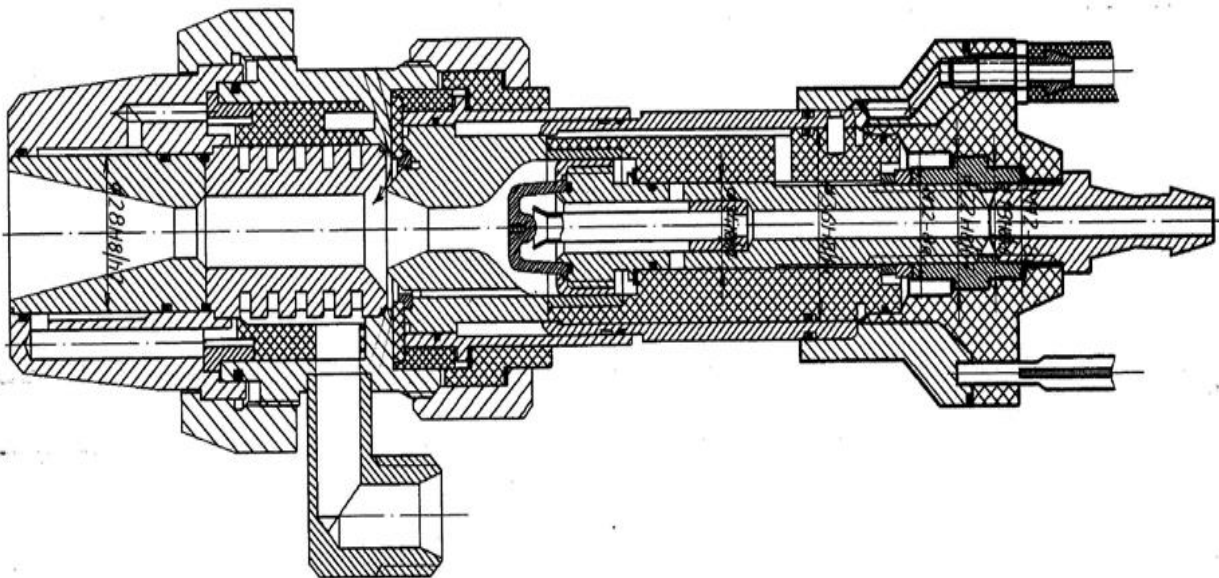


Рис. 2. Плазмотрон ПУН-1. Введення порошку в струмінь за соплом

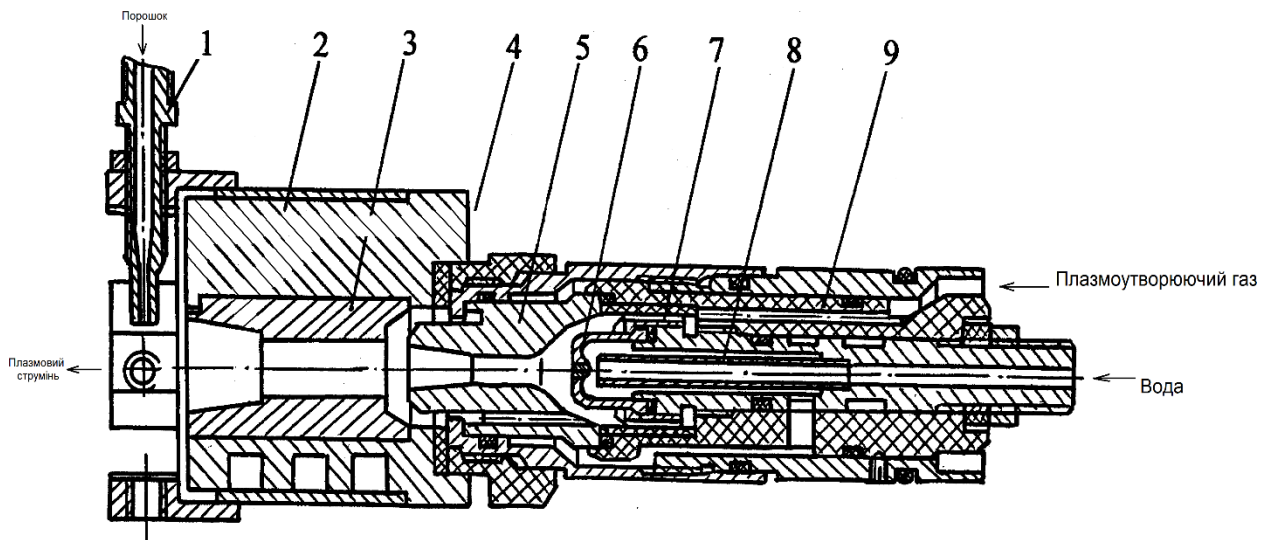


Рис. 3. Плазмотрон ПУН-1 до установки "Київ-7".

1 – система подавання порошку в канал; 2 – корпус анодного вузла; 3 - електрод (анод); 4 – водоохолоджувальне сопло; 5 – міжелектродна вставка; 6 – електрод; 7 – завихрювач; 8 –дефлектор; 9 – ізолятор

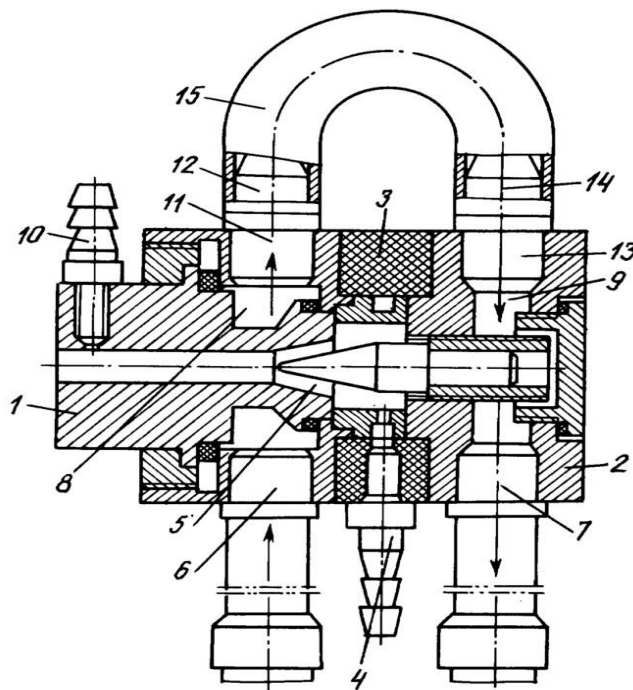


Рис. 4. Плазмотрон з коловим охолодженням, в якому плазмоутворюючі гази інертні, або їх суміші.

1-анод; 2-катод; 3-ізолятор; 4-штуцер плазми утворюючого газу; 5-електрод W+Th; 6-штуцер охолодження аноду; 7-вихідний штуцер охолоджувальної рідини; 8-вихідний штуцер аноду охолоджувальної рідини; 9-вхідний штуцер охолоджувальної рідини катоду; 10-штуцер для подачі напильного матеріалу; 11-15-вузол колового охолодження;

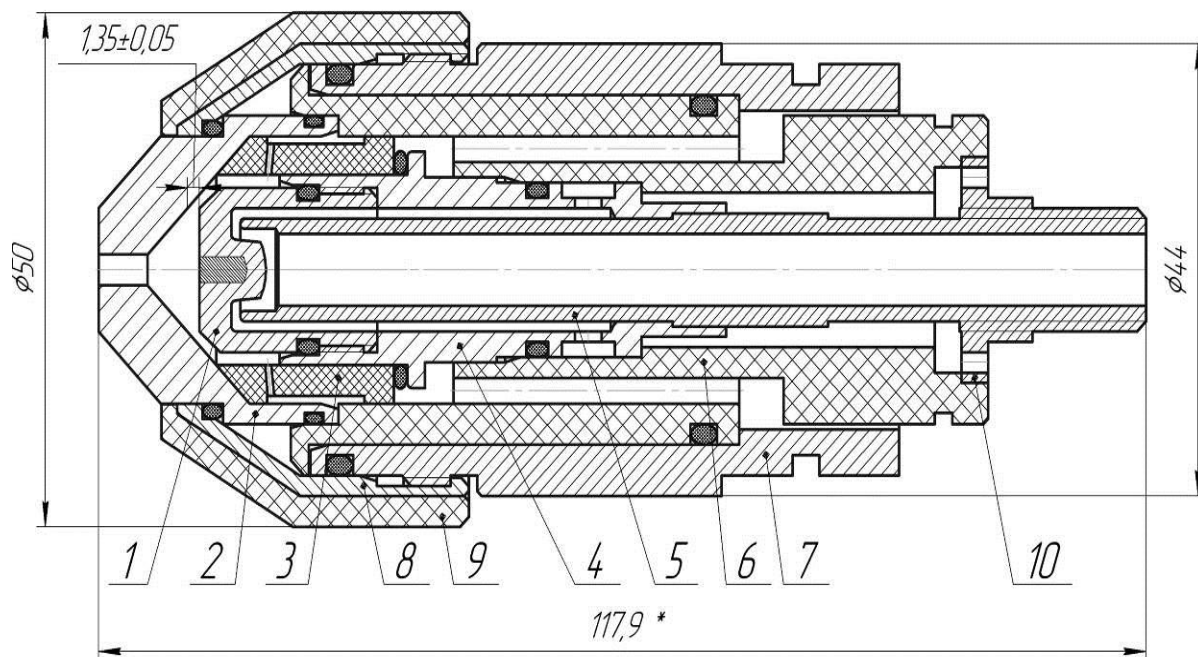


Рис. 5. Приклад складального креслення плазмотрона

Установки для плазмового напilenня

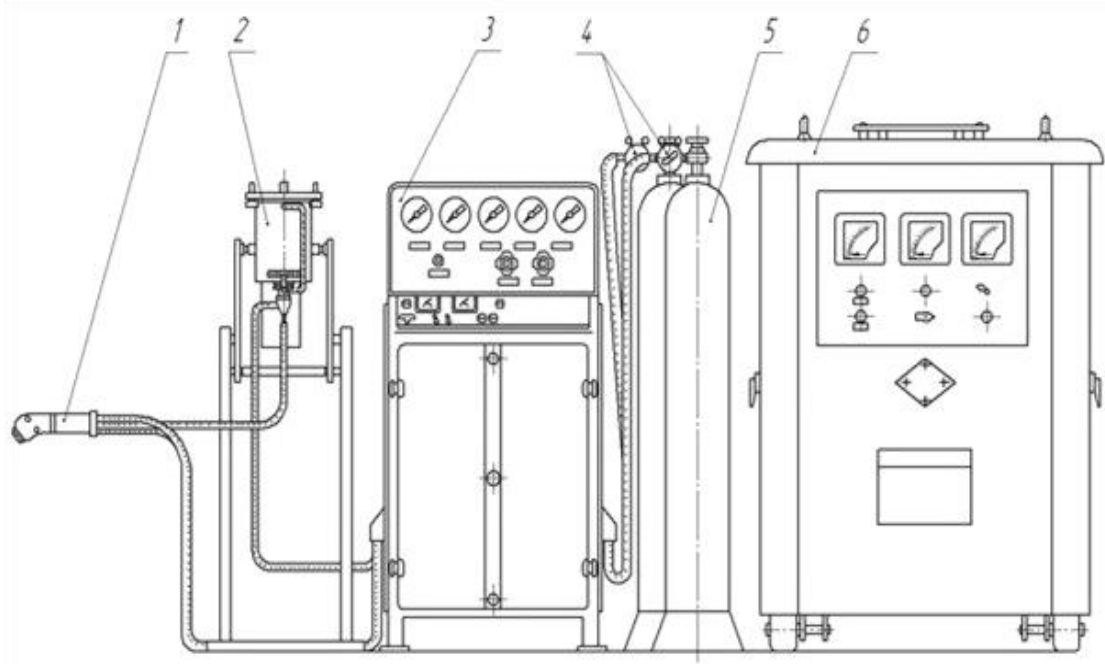


Рис. 1. Установка для ручного напilenня;

1-плазмоторн; 2-запобіжний затвор; 3-газовий пульт; 4-балон з метаном; 5-балон з повітрям; 6-джерело живлення

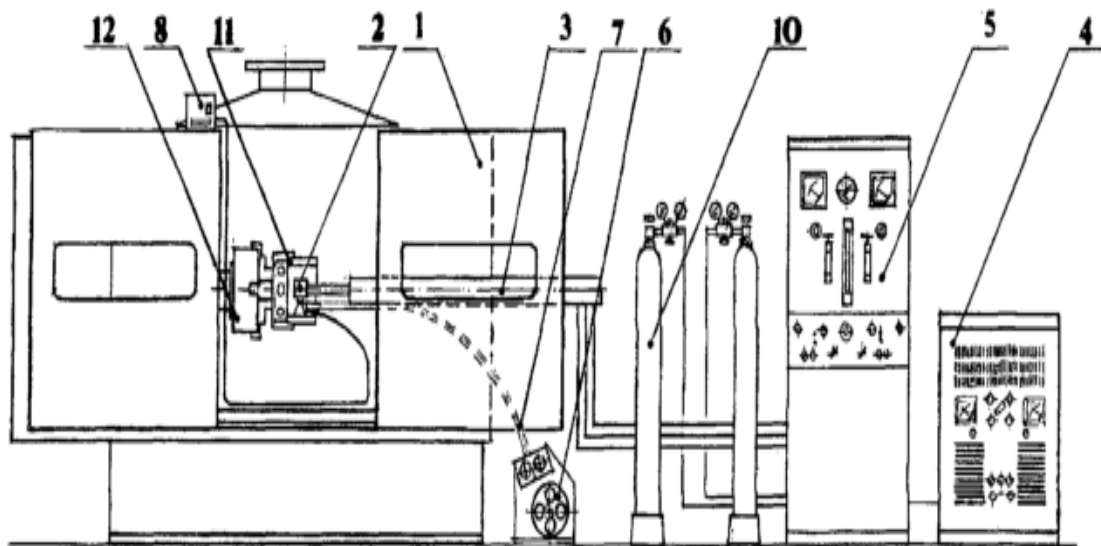


Рис. 2. Установка для механізованого напilenня внутрішніх поверхонь.

1- камера 15-ВБ; 2-плазмоторн; 3-технологічні пристосування для підключення кабель-шлангів до плазмоторну; 4-джерело живлення; 5-газовий пульт; 6-механізм переміщення; 7-привід руху; 8-дозатор-живильник; 10-балони з газами; 11-виріб; 12-патрон

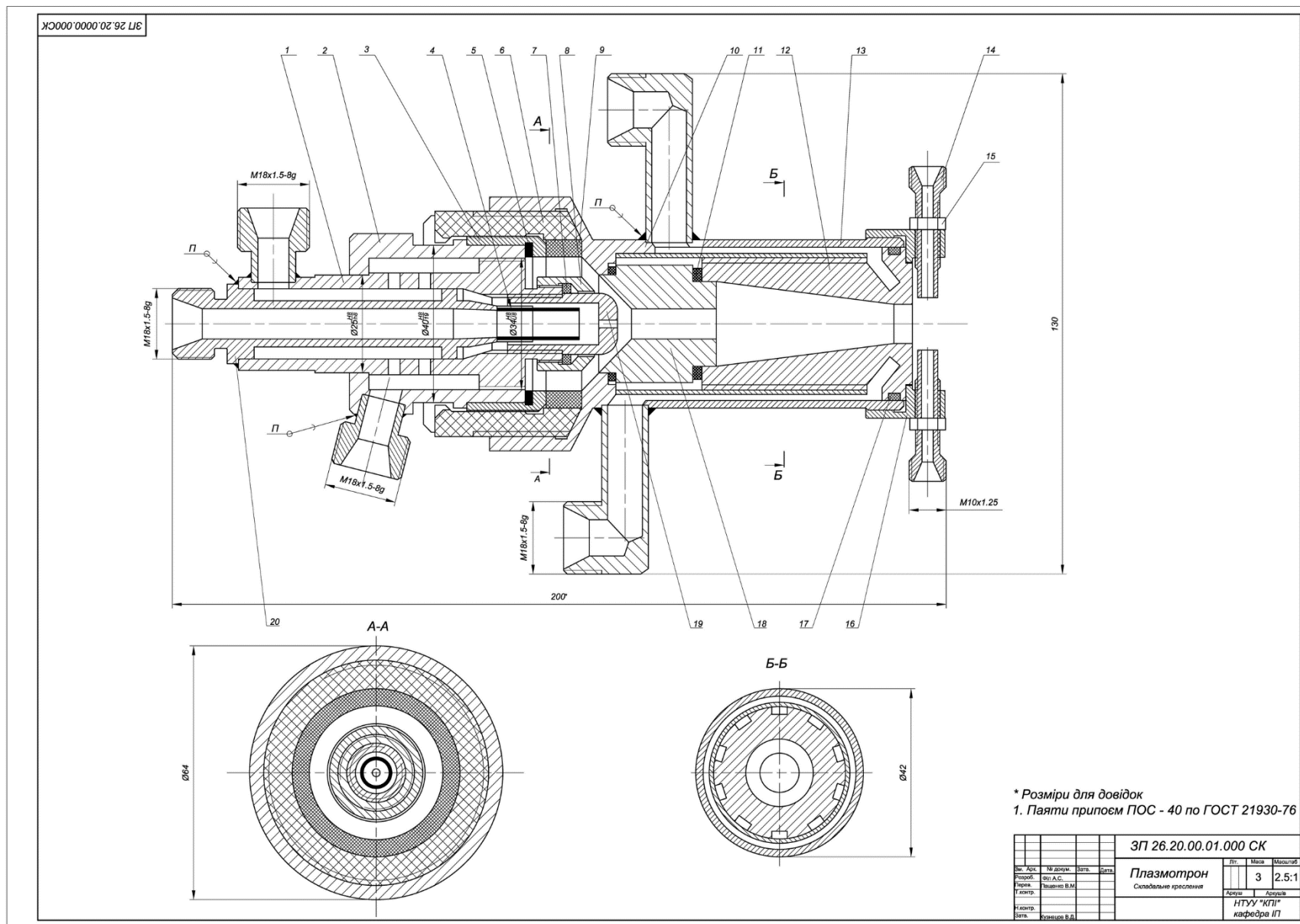


Рис.3. Приклад виконання креслення плазмотрону .

1- корпус катода; 2-стакан; 3-ушільнююче кільце; 4- дефлектор; 5- гумова прокладка; 6 - ізолятор; 7- ушільнююча вставка; 8 – ізолятор ; 9 – фіксує кільце; 10 - корпус аноду; 11- ушільнююча вставка; 12- анод; 13 – сорочка охолодження; 14 - штуцер подачі порошку; 15 – притискна гайка; 16 - кронштейн; 17 – ушільнююча вставка; 18 – анод ; 19 - катод ; 20- штуцер

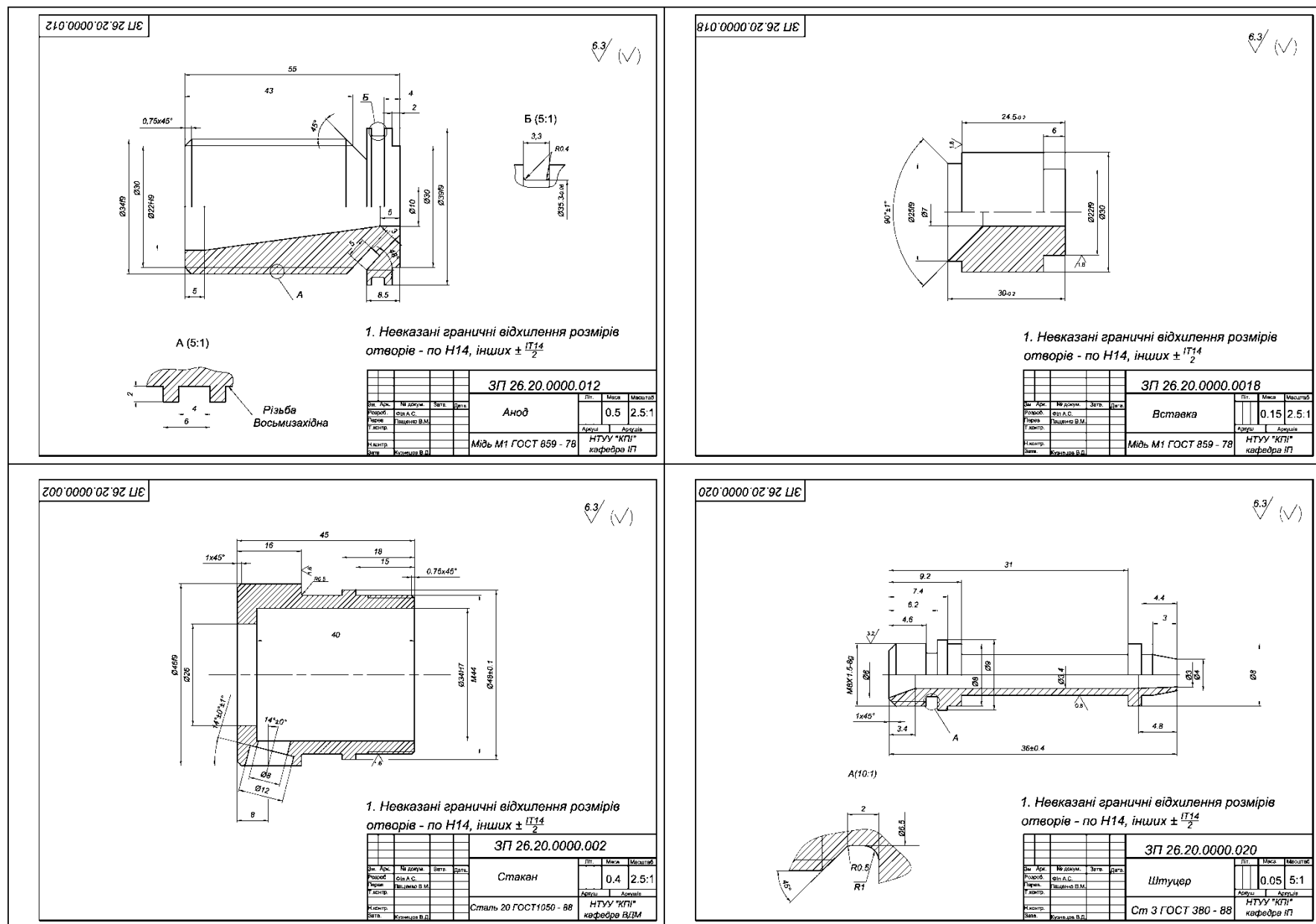


Рис.4. Приклад виконання деталювання плазмотрону

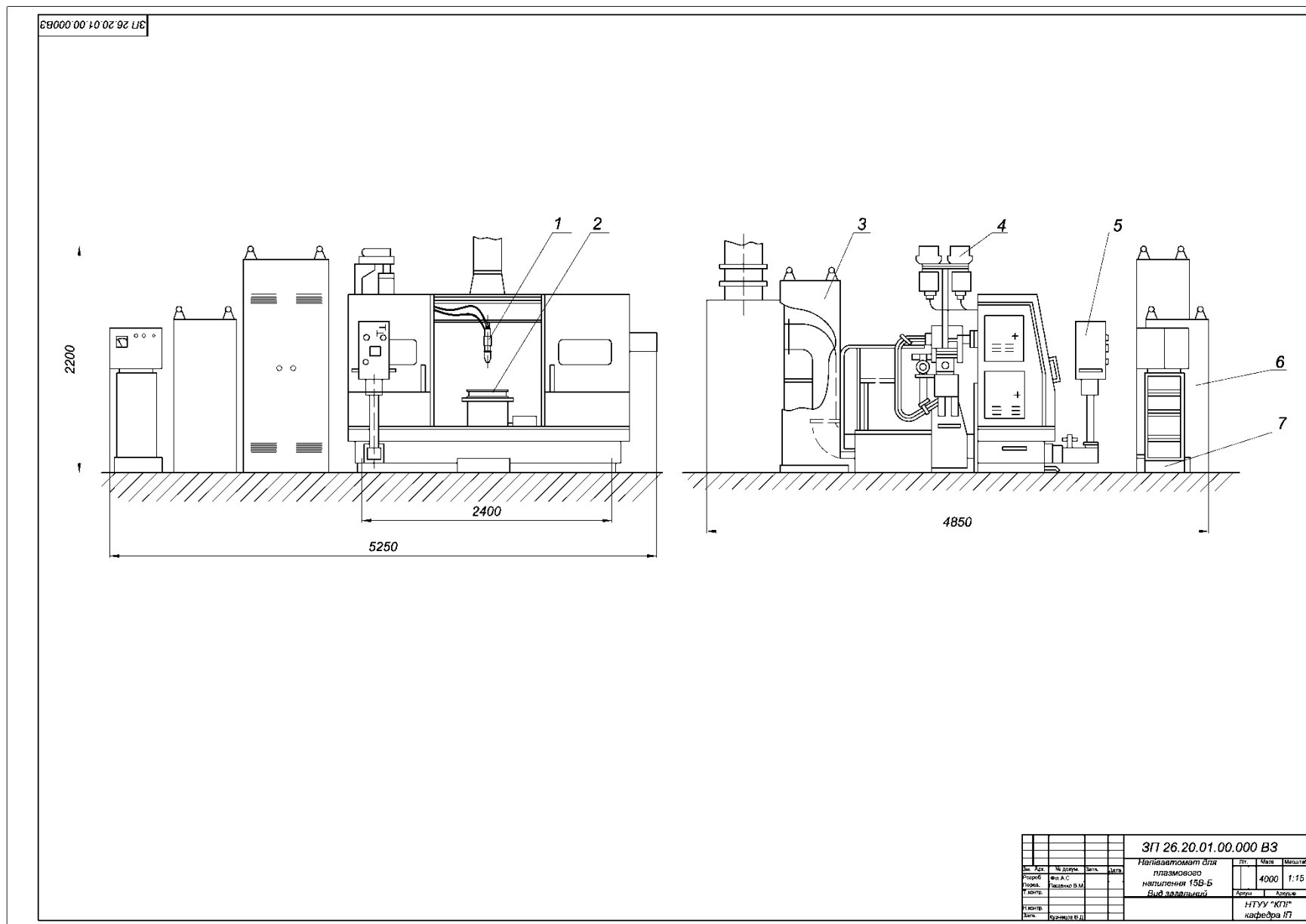


Рис. 5. Приклад виконання креслення установки плазмового наплення «Київ-7» в камері 15В-Б.
 1 – Плазматрон ПУН - 1; 2 – виріб; 3 – шафа керування; 4 – блок подавання порошків; 5 – пульт управління; 6 – блок електроживлення; 7 – блок керування

Варіанти завдань

№ варіант.	Конструкція виконання	Продуктивність напильлення кг/год	Склад плазмоутворюючої суміші	Тип матеріалу, який напильюється	Вид матеріалу	Признач. покриття
1	Ручний-	3,5	повітря+10% пропан	ПР-Бр.А8,5	порошок	антифрикційне
2	Ручний-	7	аргон	Кераміка	порошок	теплозахистне
3	Ручний	12	повітря	Цирконій+20% карбіду вольфраму	порошок	зносостійке
4	Маш.	20	азот	ПР-Н80ХС2Р	порошок	жаростійке
5	Ручний-	3	аргон	алюміній	дріт	антикорозійне
6	Машин.	7	азот	ПТ-Ю5Н	порошок	підшар
7	Машин	10	Повітря+20 % метан	ПТ-19Н-01	порошок	антифрикційне
8	машин	15	азот	Оксид титану	Гнучкий шнур	Теплоізолююче
9	Ручний	5	аргон	латунь	порошок	антифрикційне
10	машин	5	азот	ПС-12НВК-01	порошок	зносостійке
11	Ручний	10	повітря	ПГ-19М-01	порошок	антифрикційне
12	Ручний	7	повітря	ПТ88Н12;ТУ 14-1-3282-81	порошок	підшар
13	машин	9	аргон	ПР-Н70Х17С4Р4	порошок	зносостійке
14	Ручний	10	азот	ПР-180Х16Н8Ф8ТЗР	порошок	зносостійке
15	машин	11	азот	ПМС-В	дріт	антифрикційне
16	Ручний	8	повітря	молібден	дріт	підшар
17	машин	20	азот	алюміній	дріт	корозійності йке
18	машин	15	повітря	Цирконій+оксид алюмінію	порошок	Теплоізолююче
19	Ручний	7	азот	Оксид цирконію-оксид алюмінію	порошок	Жаростійке
20	машин	15	повітря	нікель	дріт	підшар
21	машин	10	азот	ПС-12НВК-01	порошок	зносостійке
22	Ручний	4	аргон	Мідь М1	дріт	електропровідність
23	машин	20	повітря	цинк	порошок	корозійності йкість
24	Ручний	6	азот	нікель	порошок	підшар
25	машин	15	повітря	молібден	порошок	підшар

Список використаної літератури

1. Корж В.М. Технологія та обладнання для напилення : Навчальний посібник . К. : НМЦ ВО, 2000.-152с.
2. В.М.Пашенко Обладнання для газотермічного нанесення покриттів: Навч.посіб.-К.: ІВЦ ” Політехніка “, 2001.- 416 с.
3. Катц Н.В., Антошин Е.В., Вадивасов Д.Г. Металлизация распылением. – М.: Машиностроение, 1966. -260 с.
4. Порошковая металлургия и напыленные покрытия: Учебник для вузов. / В.Н. Анциферов, Г.Б. Бобров, Л.К. Дружинин и др.: Под ред. Б.С. Митина. - М.: Металлургия, 1987. – 792 с.
5. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. - М.: Наука, 1972.- 720 с.
6. Хасуй А., Мorigаки О. Наплавка и напыление.- М.: Машиностроение, 1985. – 240 с.
7. Донской А.В., Клубникин В.С. Электроплазменные процессы и установки в машиностроении.-Л.: Машиностроение, 1979. - 178 с.
8. Быков В.В., Файзулина Т.С. Газопламенные горелки. М.: Машиностроение, 1974. 72с.
9. Петров Г.П., Буров Н.Г. Технология и оборудование газопламенной обработки металлов. Л.: Машиностроение, 1970. 288 с.
10. Нечаев В.Д. Методика расчета инжекторных ацетилено-кислородных сварочных горелок. - Сварочное производство, 1955, № 9, с. 13-16.